

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



RESUMEN DEL PROYECTO FINAL DE CARRERA

CURSO 2011/2012

PROCESO DE CONTROL DE LAS GRÚAS EN LAS TERMINALES DE CONTENEDORES

Coordinador destino: Prof. Dr hab. C. Eng. Janusz Szpytko (AGH UST)

Cotutor en Uc3m: Ana Muñoz Sánchez

Alumno: Fernando Barroso García

Proyecto realizado en Akademia Górniczo – Hutnicza (Cracovia, Polonia)

ÍNDICE

1. ABSTRACT	3
2. TERMINAL DE CONTENEDORES	3
3. ELEMENTOS EN TERMINALES DE CONTENEDORES	4
a) GRÚAS	4
b) CONTENEDORES	5
4. GESTIÓN DE UNA TERMINAL DE CONTENEDORES	6
a) PROCESO DE LA TERMINAL	7
b) LLEGADA DEL BARCO	7
c) CARGA Y DESCARGA DE LOS BARCOS	7
d) APILAMIENTO DE CONTENEDORES	8
5. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CONTROL EN LAS TERMINALES	8
a) DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	9
b) MODELO DE CONTROL	9
c) EXPERIMENTO Y ANÁLISIS	11
d) RESULTADOS	11
6. FUNCIONAMIENTO DE LAS GRÚAS DE TRANSFERENCIA Y DE MUELLE	12
a) TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN	12
7. AUTOMATIZACIÓN SECUENCIAL Y PARALELA	14
8. CONCLUSIONES	15

1. ABSTRACT

Este documento es un resumen del proyecto original titulado *“Process control of operating cranes at the container terminal”*. Se basa principalmente en un análisis del proceso de control de las grúas en una terminal de contenedores. En primer lugar se empieza definiendo qué es una terminal de contenedores y qué elementos principales se pueden encontrar en ella, como por ejemplo las grúas y los contenedores. Para el estudio de las grúas se debe primero conocer de forma muy simplificada cómo funciona una terminal de contenedores así como los problemas que surgen en ella, mostrándose de forma breve como podrían solucionarse para tener una terminal eficiente. El problema que se estudiará de forma más detallada es el problema del estudio del tiempo de espera de los barcos en los muelles. Se utilizará el método de simulación con la ayuda del programa Simple++ para hacer dicho estudio mostrándose un tiempo medio para un ejemplo tomado, así como los factores que más influyen en éste. También se estudiará qué tecnología de automatización está presente en las grúas de muelle de las terminales de contenedores más modernas. Finalmente se mostrará dos diferentes procesos de programación que se pueden implementar como son el proceso secuencial y multi-programa (paralelo) viendo sus ventajas y desventajas así como cual de los dos sería interesante para nuestro caso.

2. TERMINAL DE CONTENEDORES

Una terminal de contenedores es un lugar donde los contenedores son almacenados de forma transitoria hasta que son transportados entre los diferentes medios de transporte. Este trasbordo suele ser entre barcos y medios de transporte terrestres como camiones o trenes.

En este documento se habla concretamente de terminales de contenedores marítimas, situadas en puertos, pero mucha de la información se puede extender a terminales de contenedores terrestres. En ambos casos contenedores cargados y descargados son almacenados en pilas de contenedores.



Figura2.1: Terminal de contenedores en Yantian, China

3. ELEMENTOS EN TERMINALES DE CONTENEDORES

a) GRÚAS

Una grúa es un dispositivo que se usa para elevar y bajar materiales en dirección vertical además de la posibilidad de mover las cargas en dirección horizontal mientras están suspendidas.

Es posible distinguir muchos tipos de grúas, en acuerdo al diseño, a las posibilidades de movimiento, según el dispositivo de control y según posibilidad de orientación. Se va a ver una clasificación de estas grúas a continuación:

Según el diseño:

- PUENTE GRUA: Aparato de elevación situado sobre raíles que se desplaza lateralmente y que forma parte de una estructura de construcción o erigida para soportar una grúa.
- GRÚAS DE MUELLE: A crane located on a quayside used for the loading and unloading of goods and materials to and from ships.
- GRÚA PLUMA: Grúa en la que el accesorio de aprehensión está suspendido de la pluma o de un carro que se desplaza a lo largo de ella.
- GRÚA TORRE: Es un aparato de elevación de funcionamiento discontinuo, destinado a elevar y distribuir las cargas mediante un gancho suspendido de un cable, desplazándose por un carro a lo largo de una pluma.
- CARRETILLAS PUENTE: Equipo utilizado para el almacenamiento de contenedores en una terminal de almacenamiento, permitiendo la superposición de tres contenedores simultáneamente.

Según posibilidades de movimiento:

Podemos encontrar: Aparato de elevación fijo, grúa trepadora, aparato de elevación desplazable. Aparato de elevación desplazable en servicio, aparato de elevación giratorio, aparato de elevación automotriz y aparato de elevación remolcable.

Según dispositivos de control:

Podemos diferenciar aparato de elevación a mano, aparato de elevación eléctrico e hidráulico.

Según posibilidad de orientación:

Podemos encontrar aparatos de orientación orientable o no orientable (no tiene posibilidad de girar)

b) CONTENEDORES

Un contenedor o container es un recipiente de carga para el transporte aéreo, marítimo, transporte terrestre y transporte multimodal. Las dimensiones del contenedor se encuentran normalizadas para facilitar su manipulación. Los contenedores suelen estar fabricados principalmente de acero COR-TEN®. En cada una de sus esquinas, dispone de alojamientos para los *twistlocks*, que les permiten ser enganchados por grúas especiales, así como su trincaje tanto en buques como en camiones.



Figura 3.1: Contenedor Dry van 40 pies

Tipos de contenedores:

Existen diversos tipos de contenedores. El estándar es el llamado Dry Van, que puede ser generalmente de 20 o 40 pies de longitud. Variando algunas características como el hermetismo, existencia o no de refrigeración, supresión de alguna de las paredes o techo, etc. obtenemos el resto de tipos de contenedores: Metálicos, High Cube, Reefer, Open Top, Flat Rack, Open Side, Cisterna y Flexi-Tank.

El ancho de los contenedores está fijado en 8 pies, mientras que el alto varía entre 8 pies y 6 pulgadas (2,59 m) y 9 pies y 6 pulgadas (2,90 m). El largo varía entre 8 pies (2,44 metros); 10 pies (3,05 m); 20 pies (6,10 m); 40 pies (12,19 m); 45 pies (13,72 m); 48 pies (14,63 m) y 53 pies (16,15 m).

Sistema de identificación de los contenedores:

La identificación de contenedores se efectúa mediante una combinación alfanumérica de 11 dígitos. Las primeras tres letras identifican al propietario. La cuarta letra toma los siguientes valores: U para identificar a los contenedores propiamente dichos, J para el equipo

auxiliar endosable o Z para chasis o tráileres de transporte vial. Luego siguen 6 dígitos numéricos y por último un dígito verificador para asegurar la correcta relación con los 10 anteriores.



Figura 3.2: Sistema de identificación de contenedores

4. GESTIÓN DE UNA TERMINAL DE CONTENEDORES

En esta sección se va a detallar de forma simplificada el funcionamiento de una terminal de contenedores. Para la carga y descarga de los buques se utilizan grúas de muelle, puentes grúa, camiones especiales que operan dentro de la terminal y carretillas puente. En las últimas décadas los barcos han aumentado su capacidad de forma considerable por lo que es necesario que el sistema de carga y descarga esté automatizado y sea eficiente, ya que se debe minimizar el tiempo de espera del barco en el puerto.

Podemos distinguir entre tres niveles de planificación y control en la toma de decisiones para obtener una terminal eficiente. Los tres niveles son el estratégico, el táctico y el operativo.

En el *nivel estratégico* se decide el layout, el equipamiento y las formas de operación que se utilizarán. El horizonte temporal de este nivel cubre desde uno a varios años. Estas decisiones conllevan un conjunto de restricciones que tendrán que ser consideradas a nivel táctico y operativo.

En el *nivel táctico* se decide qué tipo de información se usará y las decisiones generales que se tienen que hacer. Se debe contestar a cuestiones como por ejemplo ¿Qué formas de almacenamiento de contenedores se debe utilizar? El horizonte temporal de este nivel es desde un día a un mes.

Por último, a *nivel operativo* se definen todos los problemas del día a día que se van resolviendo como por ejemplo donde se debe almacenar un contenedor concreto.

a) PROCESO DE LA TERMINAL

El proceso de carga y descargar de los contenedores desde los buques se divide en varios subprocesos como indica la siguiente figura:

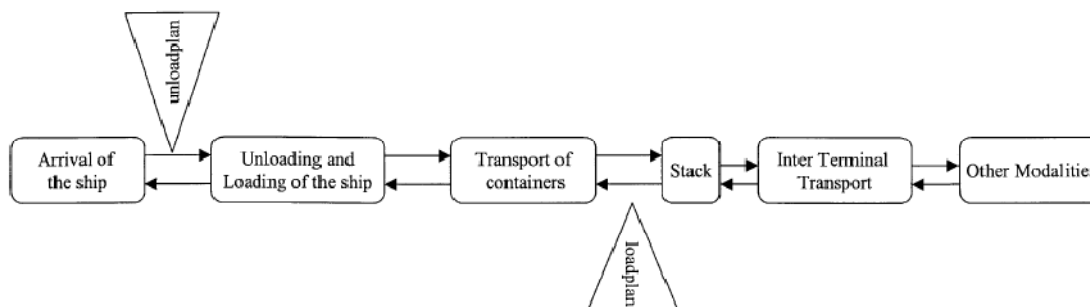


Figura 4.1: Proceso en una terminal de contenedores

Los subprocesos más importantes para nosotros en este proyecto serán la llegada del barco, carga y descarga del barco y almacenamiento (stack), ya que en estos subprocesos es donde las grúas participarán.

b) LLEGADA DEL BARCO

Cuando un barco llega tiene que amarrar en el muelle. El número de muelles que debe tener un puerto es una decisión que se debe tomar en el nivel estratégico. Hay modelos de colas que pueden ser utilizados para esta decisión. Una de las decisiones a nivel operativo es el problema llamado de asignación de atraque o Berth Allocation Problem (BAP). Hay modelos de estudio de este tipo de problema, pero no está incluido en este proyecto, por lo que se podría incluir en futuros estudios.

c) CARGA Y DESCARGA DE LOS BARCOS

El número de contenedores que hay que descargar en una terminal procedente de un barco es generalmente desconocido hasta poco antes de la llegada del buque. El plan de descarga indica que contenedores deben ser descargados y dónde están situados. El conductor de la grúa tiene libertad para decidir el orden de descarga. Con todo ello, se produce una gran variación de tiempo en este proceso de descarga.

Por otro lado, en el proceso de carga apenas existe flexibilidad. Para asegurar un transbordo rápido y eficaz es necesaria una buena distribución de los contenedores en el barco. Se trata de una planificación a nivel operativo. Este problema se suele resolver por el método de Monte Carlo, usado desde 1981 en todo el mundo.

Los contenedores son recogidos por las grúas de muelle que están fijadas al suelo o moviéndose sobre raíles. En el nivel táctico se debe calcular cual es el número óptimo de grúas que pueden trabajar de forma simultánea en un barco.

d) APILAMIENTO DE CONTENEDORES

Se pueden diferenciar dos formas de almacenamiento de contenedores: almacenamiento sobre un chasis y almacenamiento en el suelo. Con un sistema de chasis se puede tener acceso a cada contenedor mientras que con un apilamiento sobre el suelo solo se puede acceder de forma directa al que está en la parte superior de la pila. Este último método es el más utilizado generalmente y el que se explicará en esta sección.

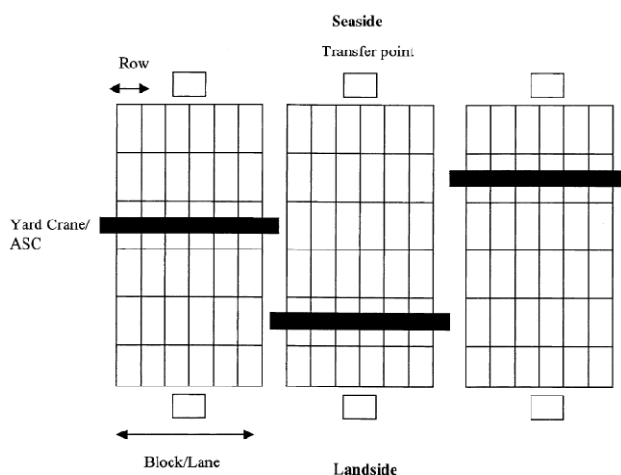


Figura 4.2: Esquema del patio de contenedores

Cada pila se divide en varios bloques o carriles, cada uno constituido por un número de filas. La altura de apilamiento varía entre dos y ocho contenedores de alto. Al final de cada carril se sitúa un punto de transferencia. En este punto la grúa carga (o descarga) el contenedor desde el vehículo que transporta el contenedor. Estas grúas pueden estar automatizadas, se llaman grúas apiladoras automáticas (ASC), se mueven sobre raíles y están controladas por un sistema operativo central.

La desventaja principal del almacenamiento sobre el suelo es que para llegar a un contenedor específico es necesario mover más de un contenedor de los que están encima. Para minimizar el tiempo perdido se puede reorganizar la pila por adelantado. Utilizando las llamadas '*buffer areas*' (zonas auxiliares de almacenamiento temporal) se puede reducir este tiempo improductivo para así minimizar el tiempo total de espera de los buques en el puerto.

5. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CONTROL EN LAS TERMINALES

La gestión de las terminales de contenedores es crucial para conseguir un transporte eficiente. Estas actividades pueden ser analizadas mediante métodos analíticos de colas, pero

este método solo válido si la distribución de probabilidad de los tiempos de llegada y servicio de los barcos pertenece a la familia de Erlang. Por lo tanto, la simulación es una alternativa eficaz para el análisis de los sistemas de las terminales de contenedores. La ventaja principal de la simulación es que se puede estudiar el comportamiento de un sistema sin necesidad de construirlo y además se pueden cambiar una diversa cantidad de variables para ver como varía el sistema.

El objetivo en esta sección es el desarrollo de un modelo de simulación orientado a objetos para analizar el tiempo de espera de los buques en la terminal de contenedores.

a) DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Se modela la terminal de contenedores con una puerta, un patio de contenedores y puesto de atraque. Se incluyen las grúas de transferencia (TC), grúas de muelle (GC) y camiones de la terminal (YT), como se indica en la siguiente figura:

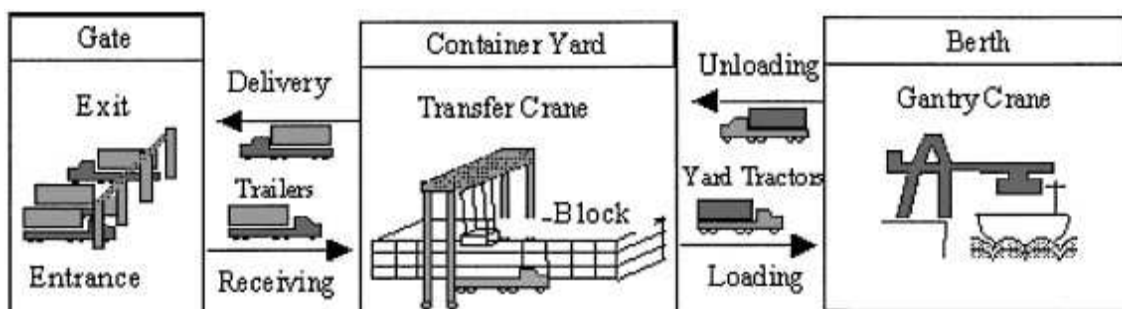


Figura 5.1: Estructura de la terminal de contenedores

Los autores de la simulación utilizaron el lenguaje de simulación SIMPLE++ que se basa en la programación orientada a objetos, en la que cada objeto contiene un conjunto de atributos y un conjunto de métodos. Los atributos son las descripciones de cada objeto y los métodos son los procedimientos que permiten al objeto modificar los atributos.

b) MODELO DE CONTROL

Con el fin de controlar el sistema, los autores han creado un método de control. En la tabla siguiente se muestra los métodos definidos por el usuario para el control de la terminal de contenedores de nuestro modelo.

Tabla 5.1: Métodos en nuestro modelo de simulación

Frame name	Method name	Control function
CTS	Init	System initialization
	Reset	System reset
	Produce	Generating container
	Travel	Checking the travel roads of YT and Trailer
Gate	Bay_alloc	Allocation of bay for containers
Yard	TC_control	Driving and working control of TC
	Branch2	Road control of TC, YT, and Trailer in the block
	Branch-T	Checking travel roads of YT and Trailer in the container yard
Block	Com_pos	Checking TC work position, comparing TC and YT work position
Bay	Load	Control of TC loading and unloading
Berth	GC_control	Driving and working control of GC
	Ship_gnrt	Control of ship work
Road	Road_control	Driving and destination control for TC, GC, YT, and Trailer
	Road2	Control of two-direction driving for TC and GC
	Road1	Control of one-direction driving for YT and Trailer

También tenemos como ejemplo de control de las grúa de transferencia el siguiente algoritmo. Este método puede controlar las grúas de transferencia de cada bloque.

```
-- .Block_M.TC_control
is
local  a,b,ob1,ob2,ob3 :object;
      aa,bb,s1: string ;  M,N,n1 : integer ;
do
ob1 := @.location;
ob2 := @.location.location;
if @.Worklist.occupied
then
  if ob2 = @.Worklist.top
  then
    @.waiting;
    if ob2.TC_Bay.pred(1).occupied
    then
      ob2.TC_Bay.pred(1).cont.continue;
    end;
  else
    a := ob2 ;  aa := obj_to_str(a);  M := str_to_num(aa);
    b := @.Worklist.top;  bb := obj_to_str(b);
    N := str_to_num(bb);  B1 := N;
    if ob2.TC_road.occupied
    then
      if aa < bb
      then
        @.move(2);
        ob3 := ob1.succ(2);
      elseif aa>bb
      then
        @.move(1);
        ob3 := ob1.succ(1);
      else
        @.waiting;
      end;
    elseif ob2.TC_road1.occupied
    then
      if aa < bb
      then
        @.move(1);
        ob3 := ob1.succ(1);
      elseif aa>bb
      then
        @.move(2);
        ob3 := ob1.succ(2);
      else
        @.waiting;
      end;
    end;
  end;
end;
n1 := @.code;
If n1 = 1
then
  .PECT.Yard.TC_pos1 := ob3;
elseif n1 = 2
then
  .PECT.Yard.TC_pos2 := ob3;
elseif n1 = 3
then
  .PECT.Yard.TC_pos3 := ob3;
elseif n1 = 4
then
  .PECT.Yard.TC_pos4 := ob3;
else
  .PECT.Yard.TC_pos5 := ob3;
end;
end;
end;
```

Figura 5.2: Ejemplo de algoritmo para el control de las grúas de transferencia

c) EXPERIMENTO Y ANÁLISIS

Se va a mostrar el ejemplo de construcción de un modelo de terminal de contenedores simplificado ya que un simular un tamaño real requiere una gran cantidad de datos de funcionamiento. Sin embargo, este modelo es suficiente para mostrar la eficacia de un sistema real. El objetivo de este experimento es calcular el tiempo medio de espera de los buques en la terminal y qué factores están influyendo en él. También se calculara cuánto contribuye cada factor para saber cuáles son más importantes y analizarlos más profundamente para minimizar el tiempo de espera.

El modelo está diseñado con una puerta que contiene dos entradas y una salida. El patio de contenedores cuenta con diez bloques (cuatro de importación y seis de exportación). Cada bloque tiene una capacidad máxima de 600 TEU. Se dispone de un muelle con dos grúas de muelle y de cuatro grúas de transferencia.

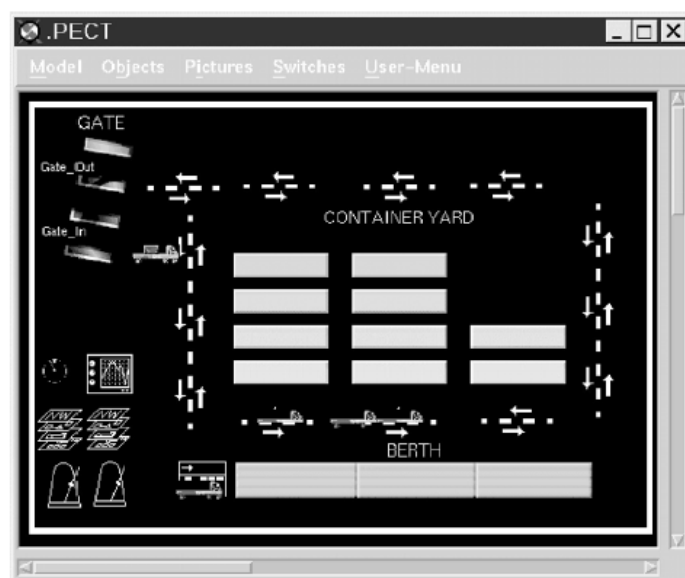


Figura 5.3: Modelo del experimento

d) RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la simulación del modelo de la terminal de contenedores. Algunos resultados se obtienen de la utilización de tres conjuntos de parámetros diferentes. Como se puede observar la tasa de ocupación del patio de contenedores aproximadamente es del 50% con un valor pico de casi el 80%. A partir de este resultado, para el diseño de la planta se debe tomar el valor pico como valor de referencia de diseño. La utilización de las grúas de transferencia y de los camiones es un factor interactivo ya que estos valores están asignados directamente al número de grúas de muelle, por lo tanto el número de grúas de muelle es un valor que se debe estudiar a fondo en el diseño.

Tabla 5.2: Resultado de la simulación

Experiment condition	Parameters							
	TC utilization (%)		GC util. (%)	YT util. (%)	Trailer util. (%)	Container yard occupancy rate (%)		Average ship waiting time for berth (h/min)
	Export block	Import block				Export block	Import block	
basic attributes of Table 3	46.58	35.96	60.80	53.6	65.8	44.78	28.3	1:02
TC operation time: Exp (2 min)	52.09	49.03	50.93	54.0	61.4	51.16	25.61	1:08
speed 15 km/h								
Number of YT: 10	58.09	43.66	46.72	74.8	59.8	49.8	25.23	1:14

El tiempo medio de espera de los buques es de 1 hora y 8 minutos. El objetivo de toda terminal de contenedores es reducir en la medida de lo posible este tiempo maximizando la utilización de los recursos para así aumentar la eficiencia.

Como se mencionó anteriormente es posible también reducir este tiempo creando áreas auxiliares para apilar contenedores llamadas buffer áreas. Con estas zonas se reduce el tiempo improductivo de las grúas. Según otras simulaciones se concluye que la creación de estas zonas supone una reducción del 4% del tiempo total.

6. FUNCIONAMIENTO DE LAS GRÚAS DE TRANSFERENCIA Y DE MUELLE

Los contenedores de los buques son cargados y descargados por las grúas-muelle. Este tipo de grúas es capaz de hacer entre 35 y 50 movimientos por hora. Son operadas de forma semiautomática por un conductor en una cabina situada en el carro de la grúa a unos 50 metros por encima del muelle.

El funcionamiento de las grúa de transferencia es totalmente automático. Los movimientos están controlados manualmente solo cuando existen necesidades de seguridad. Este movimiento está controlado por un operador situado en una oficina remota que puede llegar a supervisar de 8 a 12 grúas a través de cámaras instaladas en ellas.

a) TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN

Los paquetes de automatización de estas grúas se basan en un movimiento rápido y preciso de: posición de la carga, posición final y posición de los obstáculos:

Posición de la medición de la carga

El sistema LPS (Load Position System) consiste en una cámara equipada con módulo de procesador de vídeo y emisor de infrarrojos montado en el travesaño. El sistema de control

calcula la posición y orientación de la carga con respecto al carro. Se tienen precisiones de menos de un milímetro.

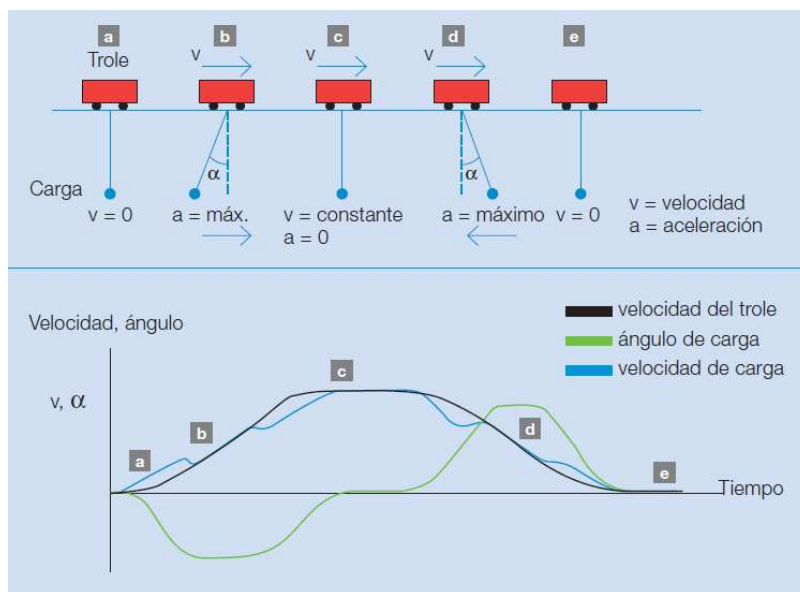


Figura 6.1: LPS (Load Position System)

Posición de destino y obstáculos

El sistema TPS (Target Position System) usa un rayo láser de precisión que permite la exploración en tres dimensiones. Permite localizar la posición exacta y el tamaño del contenedor de destino, comprueba espacios libres en las pilas adyacentes y verifica la posición de los contenedores ya apilados. También es capaz de localizar obstáculos que podrían afectar a las cargas suspendidas.

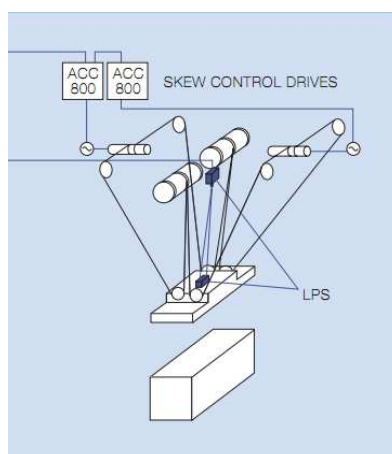


Figura 6.2: Sistema TPS

Control de carga

El sistema de control de carga se basa en un modelo de software de la carga física en suspensión. El modelo incluye algoritmos para controlar los movimientos oscilantes en el carro

y posición e inclinación de la grúa. Así es posible considerar las influencias externas como el viento o cargas asimétricas.

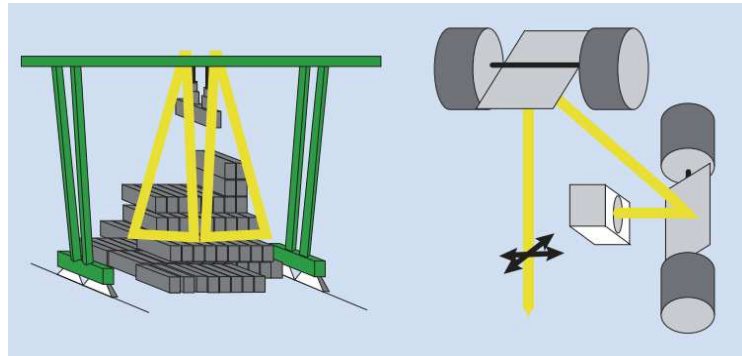


Figura 6.4: Control de carga

7. AUTOMATIZACIÓN SECUENCIAL Y PARALELA

Dos formas diferentes de automatización que se pueden encontrar en una grúa son la secuencial y la paralela (o también llamada multiprogramación). El primer método es más básico y simple, pero tiene como principal problema el tiempo de espera activo que crea un incremento en el tiempo de ejecución y por lo tanto una pérdida de rendimiento. Este problema se resuelve con la multiprogramación, ya que se puede estar en dos estados diferentes a la vez. Este método conlleva otros problemas diferentes, como el de sincronización y el de exclusión mutua. Esto se muestra en la figura siguiente donde los periodos de cálculo se indican mediante cuadros sombreados y las operaciones de E/S mediante zonas en blanco.

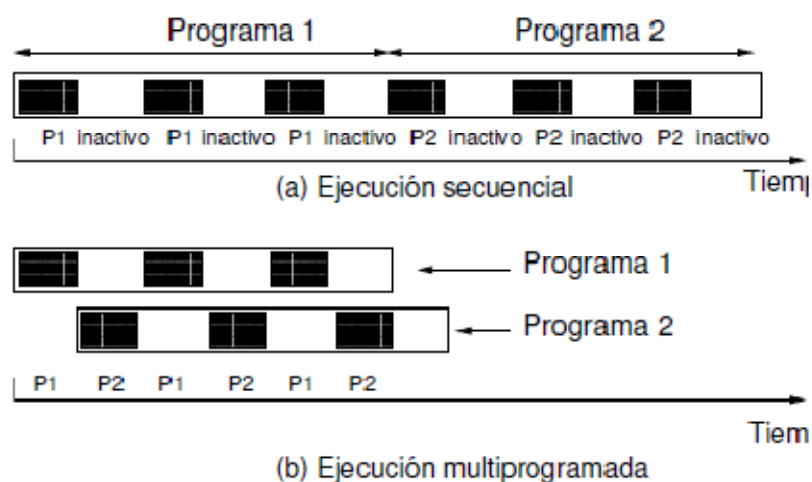


Figura 7.1: Programación secuencial vs. Paralela

El procesador gasta parte del tiempo ejecutando hasta que encuentra una instrucción de E/S. Entonces debe esperar a que concluya la instrucción de E/S antes de continuar. A este proceso se le denomina secuencial.

Esta ineficiencia no es necesaria, ya que cuando un trabajo necesite esperar por una operación de E/S, el procesador puede cambiar a otro trabajo que esté listo para ser ejecutado. Aprovechando la memoria del equipo se puede conmutar los diferentes programas para tener ocupado la mayor parte del tiempo posible al procesador de tal forma que le rendimiento del sistema aumente considerablemente. Este proceso es denominado multiprogramación. En el ejemplo de la figura anterior se consigue un rendimiento del 100% con tan solo dos programas.

En el texto completo se puede encontrar un ejemplo de cada proceso que ayuda a comprender mejor el funcionamiento de cada uno de ellos.

8. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha mostrado principalmente el problema del tiempo de espera de los barcos en la terminal de contenedores, para la descarga y carga de la mercancía. Se ha estimado con el modelo de simulación un ejemplo de terminal y se han señalado los factores que influyen más en este tiempo. Se plantean una serie de posibles soluciones para reducir este tiempo, como por ejemplo la instalación de zonas auxiliares (buffer areas) o la programación paralela en las grúas de transferencia.